

Кроме глицерина представляет интерес использование в качестве связующего материала мелкодисперсных порошков полиметилсилоксановой жидкости типа ПМС-60 ГОСТ 13032-67, которая представляет собой смесь полимеров линейного и разветвлённого строения, содержащих 35,5-38,5% растворённого кремния. Коллоидный раствор кремния в ПМС увеличивает коэффициент трения между сопряжёнными поверхностями деталей неподвижных соединений, обуславливая, тем самым, возможность повышения их статической прочности.

С этой связующей жидкостью использовались мелкодисперсные металлические порошки меди и алюминия,

а также однокомпонентные порошки никеля Ni, окиси титана TiO₂.

Сравнительные результаты усилий срыва на прочность соединений в зависимости от натяга, собранных тепловым методом с различными покрытиями, где в качестве охватываемой детали был стальной вал, а в качестве охватывающей чугунная втулка представлены на графике (рис.3).

Выводы. Предложенные вязкие композитные покрытия для соединений с натягом стальной вал-чугунная втулка, собираемые тепловым методом оказывают существенное влияние на повышение прочности и качества собранных соединений по сравнению с обычными тепловыми без покрытий. При этом в зависимости от материала мелкодисперсных порошков и связующего материала можно получать соединения с необходимыми эксплуатационными свойствами.

Для соединений, требующих периодической разборки наиболее оптимальным является покрытие на основе глицерина включающее мелкодисперсные порошки меди и алюминия. Использование такого покрытия позволяет повысить прочность в 1,7-1,9 раза против обычных тепловых и сохранить после распрессовки высокое качество сопряжённых поверхностей деталей пригодных для повторного использования. Для соединений, главным условием которых является высокая прочность может быть использовано покрытие на основе раствора жидкого стекла.

Список литературы: 1.Кравцов М.К., Святуха А.А., Чернов В.В. Промежуточные среды в соединениях с натягом. -Харьков: Изд-во Штрих. 2001.-200. 2. Боуден Ф.П., Тейбор Д. Трение и смазка твёрдых тел. М. Маш-е. 1968, 543с. 3. Bragg W. Introduction to Grystal Analysik. Bell a Sons, 1948, р. 64. 4. А.с. № 474421 (СССР). Способ соединения деталей. Андреев Г.Я., Святуха А.А., Белостоцкий В.А. – Оpubл. в Б.И. 1975, №23. 5. А.с. № 1232453 (СССР). Способ сборки деталей с натягом. Святуха А.А., Кравцов М.К., Любов В.А. – Обубл. в Б.И. 1984, №19.

УДК 621.311.25

В.М. ЧИЖИКОВА, асп., УИПА, г. Харьков

Р.М. ТРИЩ, докт. техн. наук, зав. кафедрой, УИПА, г. Харьков

С.М. ПОЛИЩУК, канд. техн. наук, доц., УИПА, г. Харьков

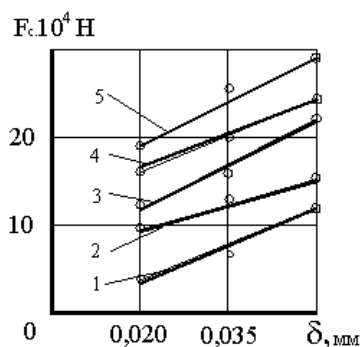


Рис.3 – График изменения усилия срыва от натяга для соединений стальной вал-чугунная втулка с различными покрытиями: 1) – тепловые без покрытия; 2) – тепловые с покрытием глицерин+Cu+Al; 3) – тепловые с покрытием ПМС+TiO₂; 4) – тепловые с покрытием ПМС+Ni; 5) – тепловые с покрытием раствором жидкого стекла.

УПРАВЛЕНИЕ КАЧЕСТВОМ ДИАГНОСТИКИ И ПРОГНОЗИРОВАНИЯ РЕСУРСА ОБОРУДОВАНИЯ АЭС

Показано, що впровадження систем контролю і діагностики устаткування на підприємствах дозволить поліпшити якість експлуатації, підвищити їх безпеку і надійність, зменшити експлуатаційні витрати на підтримку працездатності і своєчасно виводити їх з експлуатації (для ремонту).

Показано, что внедрение систем контроля и диагностики оборудования на предприятиях позволит улучшить качество эксплуатации, повысить их безопасность и надежность, уменьшить эксплуатационные затраты на поддержание работоспособности и своевременно выводить их из эксплуатации (для ремонта).

В настоящее время остро стоит вопрос о продлении эксплуатации значительной части элементов оборудования и технологических систем действующих на Украине АЭС, с выработанным календарным сроком. В связи с этим большое внимание уделяется определению максимально-реальной оценки остаточного ресурса по эксплуатационным данным для продления срока эксплуатации рассматриваемых элементов оборудования и технологических систем без снижения показателей надёжности и безопасной эксплуатации АЭС, которые изложены в серии стандартов ИСО 9000 – ИСО 9004, ИСО 8402.

Актуальность данной работы в управлении качества диагностики таких элементов АЭС как трубопроводные системы, уменьшение вибрационной нагрузки которых позволяет значительно продлить срок эксплуатации элементов оборудования и основного металла трубопроводов, непосредственно связанного с рассматриваемой трубопроводной системой, а также снизить вероятность возникновения недопустимых дефектов металла элементов технологических систем. Контроль качества при проведении обследований, включающие проведение измерений, экспертиз, испытаний для оценки одной или нескольких характеристик объекта, проверки его соответствие установленным требованиям по качеству должны обеспечить показатели надежности и безопасности при продлении сроков эксплуатации.

При проведении контроля и проверке качества продукции государственные надзорные органы и специализированные организации руководствуются нормативными актами и стандартами Украины, а проводимые работы должны удовлетворять обязательным требованиям, соответствующих стандартов[1].

Опыт эксплуатации действующих АЭС на Украине и за рубежом показывает, что колебания трубопроводных систем могут достигать значительных величин и служить причиной серьезных нарушений в работе основного оборудования и прямо влиять на безопасность эксплуатации ядерной энергетической установки.

Высокая вибрационная нагрузка трубопроводных систем является одной из причин возникновения дефектов основного металла и околошовных зон усталостного характера. Основными событиями, к которым может привести повышенная вибрация, являются: появление сквозных трещин в основном металле и околошовных зон сварных стыков, обрыв импульсных трубок, ослабление фланцевых соединений, заклинивание регулирующих органов арматуры и т.д.

Согласно результатам предварительного анализа вероятности безопасной эксплуатации пилотных энергоблоков ОП АЭС, вклад исходных событий аварии, связанных с разрывом трубопроводов, в суммарную частоту повреждения активной зоны (интегральный показатель риска эксплуатации энергоблока АЭС) составляет значительный процент.

Одним из критериев оценки технического состояния основного металла и околошовных зон сварных стыков трубопроводных систем является поверочный расчёт на циклическую прочность с учетом вибрации, для проведения которого необходимо иметь

реальные данные вибрационных исследований колебаний трубопроводов. Повышение вибрационной устойчивости трубопроводной системы достигается либо применением установки антивибрационных устройств различных типов, либо реконструкцией опор и подвесок трубопроводной системы или изменением гидравлических характеристик рабочей среды в зависимости от месторасположения и трассировки рассматриваемой трубопроводной системы. Вышеуказанный комплекс мероприятий позволяет произвести отстройку собственных частот от детерминированных частот возбуждения согласно требованиям ПНАЭ Г-7-002-86[2].

Проводимая на энергоблоках ОП АЭС модернизация, связанная с заменой оборудования, арматуры, на более совершенные типы может привести к ухудшению динамических характеристик трубопроводных систем за счет изменения спектра детерминированных частот возбуждения колебаний и нарушения их отстройки от собственных частот согласно требованиям ПНАЭ Г-7-002-86.

Для эффективной организации работ определения направлений по управлению программой продления ресурса и модернизации АЭС необходим системный анализ процесса эксплуатации, морального и физического старения оборудования.

Отсюда вытекают следующие задачи:

1. Анализ нормативной базы, подходов, методов и моделей по проблеме продления ресурса безопасной эксплуатации АЭС.

2. Системный анализ и структуризация функциональных задач продления ресурса безопасной эксплуатации АЭС:

- исследование состояния оборудования;
- прогнозирование динамики старения;
- определения мероприятий по продлению ресурса АЭС и ее элементов.

3. Формирование системного представления государственной программы продления ресурса.

4. Разработка комплекса методов анализа и управления программой продления ресурса АЭС.

- реализуемость программы;
- уровня достаточности обеспечивающих ресурсов;
- динамики финансирования;
- возможности привлечения инвестиций;
- эффективности организационной структуры управления;
- управления качеством.

5. Разработка автоматизированной системы оперативного управления и интегрированной информационной управляющей системы анализа, моделирования и управления программой продления ресурса АЭС.

Расчет остаточного ресурса трубопроводных систем АЭС должен осуществляться с позиций вибропрочности с учетом действия статических и тепловых нагрузок, эрозионно-коррозионного износа и других факторов.

Изменение во времени величины вибронапряжений в стенках конкретного трубопровода однозначно определяется изменением во времени формы упругой линии при колебаниях трубопровода. Это позволяет производить оценку вибронапряженного состояния и остаточного ресурса трубопровода, используя результаты измерения вибропеременений.

Оценка величины остаточного ресурса с позиции вибропрочности производится следующим образом.

Вначале выполняется анализ условий эксплуатации трубопровода и определяются среднегодовые значения параметров нагружения.

Производятся измерения физико-механических свойств основного металла и металла сварных швов и сравнение их с принятыми в прочностных расчетах при проектировании. Если величины измеренных характеристик меньше принятых при проектировании, то для дальнейшего расчета принимаются значения характеристик, полученные измерениями.

Выполняются расчеты трубопровода на статическую прочность при номинальном режиме эксплуатации и расчеты напряжений при пусках-остановах. В результате расчетов определяются опасные сечения и напряжения в них. Определяются сечения, в которых необходимо произвести измерения параметров вибраций трубопровода.

Затем выполняются измерения вибраций трубопровода в ряде выбранных сечений. Результаты измерений обрабатываются и представляются в виде временной функции виброперемещений $x = x(t)$ и спектральной характеристики $a_x = a_x(f)$, выделяется блок нагружения и производится схематизация случайного процесса изменения виброперемещений в выделенном блоке нагружения.

Следует отметить, что в настоящее время нет нормированных значений для вибрации стержневых систем, а разработанные нормы вибрации охватывают всю номенклатуру машин серией стандартов ИСО эксплуатируемых в СНГ [3-11].

ИСО 10816/3 устанавливает нормы вибрации (СКЗ виброскорости и вибросмещения) промышленных машин (центробежных компрессоров и насосов, электродвигателей всех типов, промышленных газовых турбин мощностью до 3 МВт, вентиляторов и воздуходувок) на корпусах подшипников. Нормы вибрации установлены в зависимости от мощности машин или высоты вала, типа и класса опор (жесткие или податливые) в частотном диапазоне от 10 Гц до 1000 Гц (для машин, скорость которых ниже 600 об/мин от 2 Гц до 1000 кГц). Нормы установлены для четырех зон технического состояния (А; В; С и Д). По сравнению с ИСО 2372 в ИСО 10816/3 нормы для границы зон С/Д ужесточены с целью обеспечения требований непрерывной работы машин в течение 3 лет. В стандарте ИСО 10816/3 установлены два критерия оценки вибрационного состояния машин. Один из них рассматривает сами значения, а другой – их изменения. Если изменение вибрации превышает 25% значения верхней границы зоны В, то оно является существенным. В ИСО 10816/3 также установлены ограничения на функционирование машин.

На Украине в 1993 году были разработаны первые редакции ДСТУ 3160 – ДСТУ 3163 [23-26]. Которые полностью соответствовали требованиям ИСО 2372 и ИСО 7919/3, а также существенно их дополняли. Они и сейчас дополняют требования ИСО 10816/3. При введении его в России (2000 г.) ДСТУ 3161 и ДСТУ 3163 были включены в библиографию стандарта. ДСТУ 3162 является пока единственным стандартом для оценки вибрационного состояния поршневых компрессоров. Эти стандарты Украины используются при сертификации компрессорного оборудования, т.к. требования их являются обязательными.

Для контроля вибрации трубопроводов в ДСТУ 3161 и ДСТУ 3162 установлены нормы виброскорости. Уровни виброускорения трубопровода необходимо устанавливать по результатам расчета деформации его конструкции от температуры, статической и динамической нагрузки, учета отстройки от собственных частот.

Для оценки вибрационного состояния и ресурса трубопроводов на АЭС Украины используется нормативный документ МВ-Т.0.27.003-09 «Методика вібродослідження трубопровідних систем АЕС» приведенный в [12].

Процесс изменения во времени виброперемещений (и, следовательно, вибронапряжений) является случайным, причем, как правило, случайным широкополосным.

Как известно, для широкополосных процессов результаты схематизации различны в зависимости от принятого метода схематизации. Наиболее достоверные результаты дает схематизация по методам полных циклов или «дождя». Результаты схематизации случайного процесса по этим методам практически совпадают.

После обработки результатов одним из этих методов получаем распределение амплитуд виброперемещений для выделенного блока нагружения.

Затем выполняются вибрационные расчеты трубопровода по программе, в которой принята стержневая модель трубопровода. Вначале производится сравнение расчетной зависимости амплитуд виброперемещений от частоты с экспериментальной. При наличии существенных отклонений повторяются измерения и уточняются исходные данные для расчетов. После достижения удовлетворительного совпадения результатов расчетов и измерений рассчитываются амплитуды вибронапряжений в опасных сечениях, соответствующее выделенным в результате схематизации случайного процесса амплитудам виброперемещений, а также максимальная амплитуда вибронапряжений и частота повторения блоков нагружения $f_6 = \frac{1}{T}$.

В результате реальный случайный процесс нагружения заменяется эквивалентным полигармоническим.

После этого полученное полигармоническое нагружение по методу, разработанному институтом проблем прочности АН Украины, трансформируется в эквивалентное по долговечности гармоническое. В соответствии с этим методом эквивалентная амплитуда гармонического нагружения определяется следующим образом:

$$\sigma_{a, \text{эп}} = \sigma_{ac} \left[1 + \sum_{i=1}^r \left(\frac{f_i}{f_6} \right)^{\frac{1+n}{m \cdot n}} \left(\frac{\sigma_{npi}}{\sigma_{ac}} \right)^{\frac{1+n}{n}} \right]^{\frac{1+n}{1+n}}$$

где σ_{ac} – амплитуда наибольшего размаха напряжений;

σ_{np} – амплитуда приведенного напряжения в i – м блоке схематизированного макро-блока;

f_i – частота нагружения в i – м блоке;

f_6 – частота макроблоков;

n, m – показатели степени, значения которых определяются в зависимости от характеристик материала.

Величины эквивалентных по долговечности амплитуд вибронапряжений корректируются с учетом:

- влияния на усталостную прочность среды;
- концентрации напряжений в сварных швах;
- отличия свойств сварного шва и основного металла.

Корректирующие коэффициенты определяются в соответствии с «Нормами расчета на прочность оборудования и трубопроводов атомных энергетических установок ПНАЭ Г-7-002-86»

После этого определяется величина накопленного за год суммарного усталостного повреждения:

$$a_{\Sigma} = a_n + a_{хол} + a_{\sigma} + a_{ав} + a_{ННУЭ} ,$$

где

$a_n, a_{хол}, a_z, a_{ав}, a_{ННУЭ}$ - повреждение на номинальных режимах эксплуатации, пусках-остановах из холодного и горячего состояний, аварийных режимах и режимах ННУЭ.

Величина повреждения для каждого из режимов определяется как отношение отработанного количества циклов к допустимому:

$$a = N/[N]$$

Допустимое число циклов определяется по расчетным кривым усталости «Норм расчета на прочность...» или по формуле

$$(4n[N])^e + \frac{1}{1-r}$$

Заключительным этапом выполнения работ является внедрение рекомендаций по снижению вибрационной активности трубопроводных систем с целью продления их срока службы и оценка эффективности выполнения этой работы.

В настоящее время в области диагностики и прогнозирования технического состояния разрабатываются ряд проектов стандартов ИСО[13-22], требования которых целесообразно знать до их ввода в действие.

В практике виброконтроля принято вибросмещение измерять в диапазоне частот от 0 до 10 Гц, виброскорость - от 10 до 1000 Гц, виброускорение – свыше 1кГц до 10 – 20 кГц. Это позволяет более объективно оценивать действующую нагрузку на элементы оборудования.

Повышение надежности и безопасности оборудования и трубопроводов было всегда одной из первоочередных технических проблем. Согласно нормативным документам Украины необходимо определять и периодически контролировать основные показатели надежности и безопасности оборудования. При достижении их предельного состояния (при котором эксплуатация недопустима или нецелесообразна) они направляются в ремонт или проводится замена. Продление ресурса объекта сверх расчетного и предотвращения незапланированных отказов, а также повышение безопасности работающих является одной из важнейших задач предприятия.

Решение проблемы проводится по многим направлениям. Совершенствование методов мониторинга и диагностики - одно из них. Эффективный контроль готовой продукции закрывает путь к потребителю некачественной продукции, а внедрение в эксплуатацию средств, позволяющих быстро и точно определить техническое состояние работающего оборудования, дает возможность принять верное решение, по времени проведения и объему ремонта, организовать ремонт составных частей по фактическому состоянию. Предприятия – потребители продукции машиностроения начали создавать системы мониторинга и диагностики оборудования. Для этого им требуется больше информации о поставляемых изделиях, прежде всего, сведения о кинематике и базовые вибрационные характеристики, а также о влиянии режима работы на интенсивность основных виброакустических источников.

При эксплуатации оборудования рекомендуется ежедневно контролировать общие уровни виброскорости и виброускорения подшипников, а также оценивать интенсивность основных виброакустических источников через 600 – 1200 часов работы (периодичность целесообразно устанавливать в зависимости от наработки на отказ самого слабого узла). Для трубопроводов такая периодичность устанавливается индивидуально эксплуатирующей организацией.

В Украине из-за отсутствия недорогих технических средств и необходимого программного обеспечения по мониторингу и диагностике, обязательной сертификации качества оборудования сдерживалось внедрение стандартов ДСТУ 3160 – ДСТУ 3163, ко-

которые можно использовать и для других промышленных машин (см. ИСО 10816/3). Необходимо только уточнить требования по режиму работы машины.

В настоящее время предприятиям предлагаются различные технические средств и программное обеспечение для мониторинга и диагностики оборудования. При их выборе необходимо учитывать требования стандартов Украины. Внедрение систем контроля и диагностики оборудования на предприятиях позволит улучшить качество эксплуатации, повысить их безопасность и надежность, уменьшить эксплуатационные затраты на поддержание работоспособности и своевременно выводить их из эксплуатации (для ремонта).

Список литературы: 1. Декрет Кабинета Министров Украины № 30-93. 2. Нормы расчета на прочность оборудования и трубопроводов атомных энергетических установок (ПНАЭ Г-7-002-86) / Госатомэнергонадзор СССР.-М.: Энергоатомиздат, 1989.-524 с. 3. ГОСТ 20815-93 Машины электрические вращающиеся. Механическая вибрация некоторых видов машин с высотой оси вращения 56 мм и более. Измерение, оценка и допустимые значения. 4. ГОСТ 25364-97 Вибрация. Агрегаты паротурбинные стационарные. Нормы вибрации опор валопровода и общие требования к проведению измерений. 5. ГОСТ 27165-97 Агрегаты паротурбинные стационарные. Нормы вибрации валопровода и общие требования к проведению измерений. 6. ГОСТ ИСО 10816/1-1997 Вибрация. Контроль состояния машин по результатам измерения вибрации на невращающихся частях. Общие требования. 7. ИСО 10816/2: 2001 Вибрация. Оценка состояния машин по результатам измерения вибрации на невращающихся частях. Часть 2. Крупные стационарные паровые турбины и генераторы мощность свыше 50 МВт и номинальной скоростью 1500, 1800, 3000 и 3600 об/мин. 8. ГОСТ ИСО 10816/3-1998 Вибрация. Контроль состояния машин по результатам измерения вибрации на невращающихся частях. Часть 3. Промышленные машины номинальной мощностью свыше 15 кВт и номинальной скоростью вращения от 120 до 15000 об/мин. 9. ГОСТ ИСО 10816/4-1998 Вибрация. Контроль состояния машин по результатам измерения вибрации на невращающихся частях. Часть 4. Газотурбинные установки. 10. ИСО 10816/5: 2000 Вибрация. Оценка состояния машин по результатам измерения вибрации на невращающихся частях. Часть 5. Агрегаты на гидроэлектростанциях и насосных станциях. 11. ИСО 10816/6: 2000 Вибрация. Оценка состояния машин по результатам измерения вибрации на невращающихся частях. Часть 6. Машины возвратно-поступательного действия номинальной мощностью свыше 100 кВт. 12. Кіпоренко А.Н. Удосконалення нормативного забезпечення експлуатаційної безпеки трубопроводних систем атомних електростанцій. Автореферат дисертації на здобуття наукового ступеня канд. техн. наук – Харків, 2010, 21 с. 13. ИСО/ ПМС 13374-1 Контроль состояния и диагностика машин. Методы обработки, передачи и представления данных. Часть 1. Общее руководство. 14. ИСО/ ПМС 13374-2 Контроль состояния и диагностика машин. Методы обработки, передачи и представления данных. Часть 2. Методы обработки и анализа данных. 15. ИСО/ ПМС 13379 Вибрация. Интерпретация данных и методы диагностирования с использованием информации, связанной с контролем состояния машины. 16. ИСО 13380: 2002 Контроль состояния и диагностика машин. Общее руководство по применению результатов измерений рабочих характеристик машин. 17. ИСО/ПК 13381-1 Вибрация. Контроль состояния машин. Методы прогнозирования. 18. ИСО/ ПМС 17359 Контроль состояния и диагностика машин. Общее руководство. 19. ИСО/ ПМС 18436-1 Контроль состояния и диагностика машин. Обучение и аттестация персонала, и аккредитация испытательных лабораторий. Часть 1. Общее руководство. 20. ИСО/ ПМС 18436-2 Контроль состояния и диагностика машин. Обучение и аттестация персонала, и аккредитация испытательных лабораторий. Часть 2. Вибрационный анализ.

Поступила в редколлегию 01.10.2010

УДК 343.948; 2

Л.І. ЮРЧЕНКО, докт. фил. наук, проф., Харьковский институт банковского дела
І.В. ЦИХАНОВСЬКА, канд. хим. наук, доц, Харьковский институт банковского дела
А.Ю. КУКУРУДЗА, уч. мастер, Харьковский институт банковского дела